

## 屋外スロープを用いた雪崩予防柵に関する実験

松沢勝・三好達夫・伊東靖彦・加治屋安彦（独）土木研究所寒地土木研究所  
西村浩一（新潟大学）、大槻政哉（雪研スノーイーターズ）

### 1. はじめに

多量降雪時に道路法面で、雪崩予防柵を透過して道路に達する雪崩が、道内でしばしば発生して問題になっている。「すり抜け雪崩」と称されるこの種の対策として、既存の雪崩予防柵に鋼製のエキスパンドメタル等を取り付ける試みがなされている。しかし、対策工法の基本的仕様や基準は定まったものが無く、また効果の評価も行われていない。加えて、「すり抜け雪崩」を観測・目視した事例は存在せず、雪崩予防柵の設置されているのり面の上部に雪崩の破断面があるという状況証拠から、雪崩予防柵を雪崩がすり抜けたと判断されている。

すり抜け雪崩の流動形態として、図1に示す2つの形態が考えられる。一つは、斜面上部より流下してきた雪崩が、新雪を取り込みながら柵をすり抜けるものである（図1・a）。もう一つは、新雪雪崩が発生するときに、その斜面に設置されている雪崩予防柵をすり抜けるものである（図1・b）。前者の方がよりすり抜けやすい条件であると考えられるので、本研究では、すり抜け雪崩の形態を前者と仮定した実験を実施した。

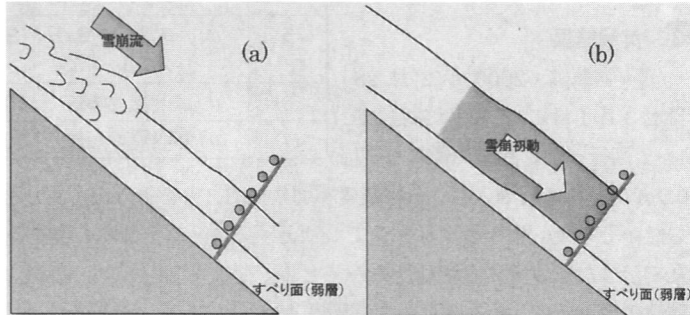


図1 すり抜け雪崩の形態のイメージ。本実験では、a 図のすり抜け形態を想定した。

### 2. 実験の目的と概要

実験の目的は、すり抜け雪崩対策として、雪崩予防柵に鋼製エキスパンドメタル等を張ることを前提とし、使用する部材の種類や規格がすり抜け抑制に与える効果を把握し、すり抜け雪崩対策工検討の基礎資料とすることである。実験は、寒地土木研究所石狩吹雪実験場に設置している雪崩落石実験スロープで行った。実験では、雪崩予防柵模型（7タイプ）に対し、スロープ上方から雪を流し、雪崩予防柵にかかる荷重や実験前後の雪の密度および温度等の測定、すり抜け状況の動画撮影を行った。

写真1は、実験に使ったスロープで、高さ10m、斜面長14m、幅1m、斜度45°である。天端から斜面下方向11mの地点に模型柵を固定するためのH鋼で製作したフレームを設置した。流下時の摩擦を抑えるためスロープ底面にブルーシートを張った。また側面にはビデオ撮影可能なように透明の亚克力



写真1 実験スロープ

板を設置した。

実験模型のタイプを表1に示す。タイプ①は、北海道開発局の標準柵を模したものである。タイプ③以降は、タイプ①の柵面に網を張ってすり抜け雪崩の対策を図ったものである。用いた部材は、エキスパンドメタル、溶接金網、樹脂ネットで、エキスパンドメタルは、メッシュの大きさが異なる3種の製品を用いた。写真2にその一例(タイプ③)を示す。実験模型はH鋼のフレームに、写真2の丸で示す4箇所ロードセルを介して固定した。

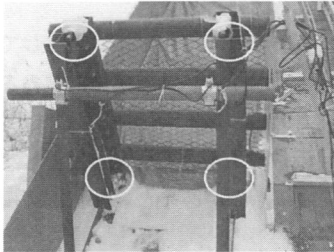
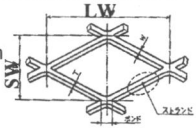


写真2 実験模型(タイプ③)。丸印はロードセルの設置箇所。

表1 実験模型のタイプ

タイプ	母材	対策用部材	備考
①	丸管	なし	開発局標準φ89.1mm
②	角柱	なし	90mm×90mm
③	丸管	エキスパンドメタル-XS62	(SW)34mm × (LW)76.2mm 
④	"	エキスパンドメタル-XS42	(SW)22mm × (LW)50.8mm
⑤	"	エキスパンドメタル-XS32	(SW)12mm × (LW)30.5mm
⑥	"	溶接金網	50mm × 50mm
⑦	"	樹脂ネット	50mm × 50mm

### 3. 実験結果

流下実験は、2006年2月28日と3月1日に、各模型に対して1~2回行った。投雪の際に1辺

0.9mの型枠に雪を入れ、金属製の雪切り板で、雪を十分ほぐした後、試験雪の体積、密度等を計測した。その後、型枠をクレーンでつり上げスロープ上部から雪を流下させた。流下中は、写真2の丸で示した4カ所に設置したロードセルで荷重を測定した。なお、荷重は4カ所のロードセルの計測値の合計値で、サンプリング間隔は1/16秒である。流下後には、柵背面に残った雪やすり抜けた雪の密度等の測定を行った。これらの実験雪などの条件を表2に示す(気温は石狩吹雪実験場構内の定点観測での値)。解析に際しては、荷重の最大値である最大衝撃力、および、雪の密度と体積から算出した雪の質量により、式(1)で定義したすり抜け率を求めた。

$$\text{すり抜け率} = \left\{ 1 - \frac{\text{柵背面の積雪の質量}^*}{\text{投雪前の試験雪の質量}} \right\} \times 100 (\%) \quad \dots(1)$$

\* 柵の背面に残った雪の体積を流下後の画像から推定し、雪密度を掛けて算出。

表2 実験に用いた雪の条件

実験日時	気温(°C)	流下前				流下後		
		投雪体積(m <sup>3</sup> )	雪密度(kg/m <sup>3</sup> )	雪温(°C)	硬度(kPa)	柵下雪温(°C)	柵下雪密度(kg/m <sup>3</sup> )	柵背面雪密度(kg/m <sup>3</sup> )
2006/2/28 13:09~15:54	-1.7~1.0	0.32	260~400	-2.4~-1.6	48.12~63.69	-2.3~-0.3	300~380	380~500
2006/3/1 11:13~14:05	-2.7~-1.6	0.31~0.36	380~470	-2.7~-0.3	56.62~72.19	-2.2~-0.3	400~520	420~540

写真3にタイプ①とタイプ③の模型に対する実験状況を示す。左が、雪崩が柵を通過しているときの写真で、右が、雪崩流下後の写真である。写真より、タイプ①は柵の下部を雪崩が通過し、ほとんどすり抜けたのに対して、タイプ③は柵に雪崩が衝突した後、一部が上部に越流したものの、

雪崩は、ほとんど柵を透過せず、背面に堆積した状況がみられる。なお、流下雪は、ほぼ流動化した状態で流れてきたが、2月28日のタイプ⑥(溶接金網)の実験では塊状で衝突した。また、同じ日の、タイプ③(エキスパンドメタル XS62)およびタイプ④(エキスパンドメタル XS42)の2回目の実験では、流下雪に50cm程度の雪塊が含まれていた。

図2は3月1日の実験でのタイプ①とタイプ③の荷重の計測値を示す。タイプ①の丸管(網なし)では、雪はほぼ完全にすり抜けたが、タイプ③のエキスパンドメタル XS62では雪崩予防柵の背面に雪が残った。

図3はすり抜け率と、流下前の雪密度の関係である。流下実験前の雪の密度が260~470kg/m<sup>3</sup>と幅が広いため、すり抜け現象に及ぼす影響が想定されたが、両者には明瞭な関係は見られなかった。また、図4は、流下中の平均速度とすり抜け率との関係である。流下中の平均速度は、走路距離(=11m)を流下開始から模型柵に荷重がかかり始めるまでの時間で除した値である。図より、今回の実験で観測された速度の範囲で

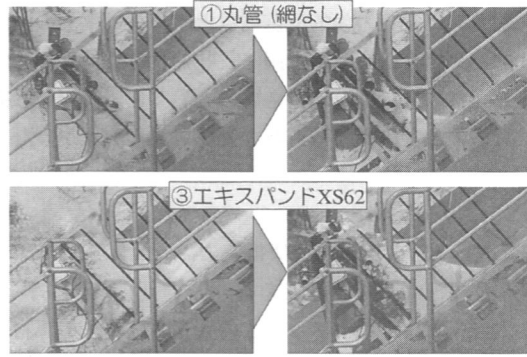


写真3 模型柵への流下雪の衝突状況と実験後の状況

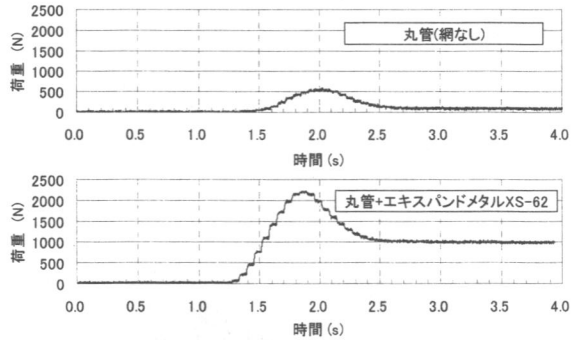


図2 荷重の計測データ

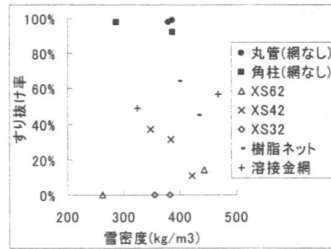


図3 流下前の雪密度とすり抜け率との関係。

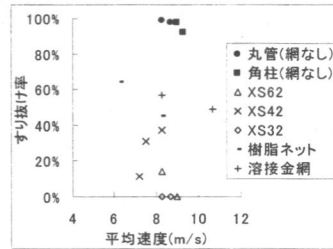


図4 流下中の平均速度とすり抜け率との関係。

は、両者に明瞭な関係は見られなかった。以上より、各実験での流下前の雪密度や衝突速度の違いは、解析上は無視できるものとした。

図5は、すり抜け率と最大衝撃力の関係を示したものである。図より、すり抜け率が大きくなるほど、最大衝撃力が小さくなる傾向にあることがわかる。この様に、エキスパンドメタル等を取り付けた雪崩予防柵は、取り付けしていない柵に比べ相対的に大きな荷重が測定された。なお、図5で、実験時に雪塊が観察された事例を破線で囲んだ。塊状で衝突することで、最大衝撃力が大きくなる傾向はあるが、すり抜け率には関係が見られなかった。

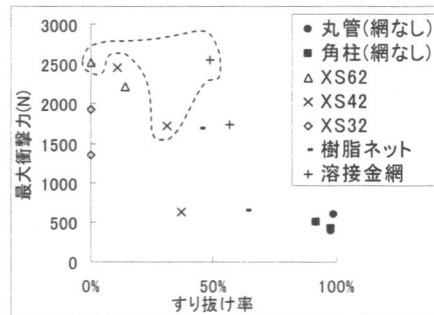


図5 すり抜け率と最大衝撃力。破線で囲まれた3データは、雪塊が衝突した事例。

図6は、空気力学的抵抗係数とすり抜け率との関係を表したものである。抵抗係数は、北海道立北方建築総合研究所の風洞に、雪崩予防柵模型を入れて空気力学的な抵抗力を測定し式(2)より求めた。角柱の抵抗係数が大きいのを除くと、ほぼ同じ抵抗係数となっており、すり抜け率と空気力学的抵抗係数との間には有意な関係は見られなかった。

$$C_D = \frac{2D}{\rho U^2 A} \quad \dots(2)$$

ここで、 $C_D$ :抵抗係数、 $D$ :抵抗力、 $\rho$ :流体密度、 $U$ :流体速度、 $A$ :投影面積である。

次に、著者らは、メッシュの大きさと格子の部材の太さも、すり抜けに影響のある要因と考えた。そこで、式(3)により、メッシュ面積に対する格子部材の投影面積(図7)比をメッシュ係数と定義し、メッシュ係数とすり抜け率の関係を調べた。図8

はその結果である。図8より、メッシュ係数とすり抜け率には相関が見られ、メッシュ係数の大きいエキスパンドメタルの方が、樹脂ネットや溶接金網より、すり抜け率が小さい傾向が見られた。

$$\text{メッシュ係数} = \frac{\text{格子部材投影面積}}{\text{メッシュ面積}} \quad \dots(3)$$

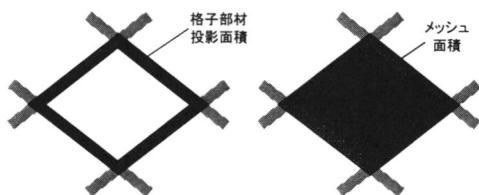


図7 格子部材投影面積と、メッシュ面積。濃い網掛け部分がそれぞれの面積に該当する。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究をまとめると次のようになる。

すり抜け対策として、エキスパンドメタル等のすり抜け対策を施した場合、柵単体の場合よりもすり抜け率が小さく、対策効果が期待できる。また、メッシュ係数は、すり抜け率との相関が良く、すり抜け雪崩対策工の効果を示す指標として活用できる可能性がある。そして、メッシュ係数の大きいエキスパンドメタルの方が、溶接金網や樹脂ネットに比べすり抜け率が小さい傾向があることが分かった。

本研究の今後の課題として、まず、現地観測によって実際に雪崩が雪崩予防柵をすり抜ける現象を把握すること。次に、現地条件と雪崩実態をできるだけ再現した実験を行うこと。そして対策工の効果について定量的に評価できる実験手法を採用することが必要と考えられる。これらの課題をクリアしつつ、すり抜け雪崩の対策手法の確立にむけて、今後の研究を進める予定である。

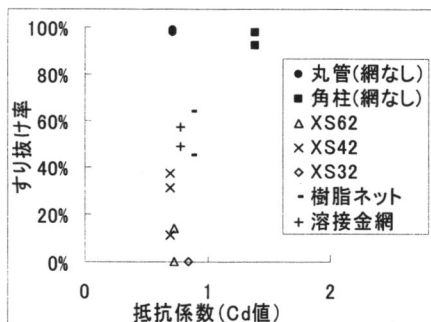


図6 空気力学的な抵抗係数とすり抜け率

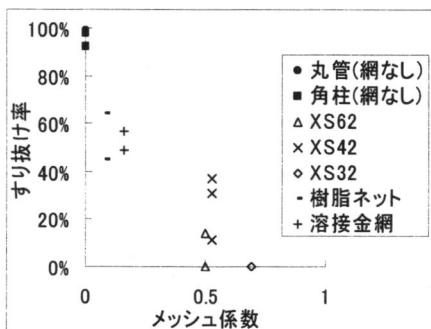


図8 メッシュ係数とすり抜け率